

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Bakalářská práce

2013

Richard Bejoch

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Vyhodnocení a optimalizace taveb EOP ve společnosti
Vítkovice a.s.

Smelting Mode of EAF Evaluatin and Optimisation in Vitkovice Company

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Richard Bejoch**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Vyhodnocení a optimalizace taveb EOP ve společnosti Vítkovice, a.s.
Smelting Mode of EAF Evaluation and Optimisation in Vitkovice
Company**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky měření na EOP
2. Stanovení veličin pro hodnocení energetického režimu EOP
3. Určení podmínek optimalizace
4. Rozbor a vyhodnocení naměřených dat

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Hradílek, Z., Lázníčková, I., Král, V. Elektrotepelná technika. Praha: ČVUT Praha 2011. ISBN 978-80-01-043938-9
- [2] Hradílek, Z. a kol. Elektrotepelná technika. Simulace - počítačové programy. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001
- [3] Hradílek, Z. a kol. Elektrotepelná zařízení. Praha: IN-EL Praha, 1997
- [4] Rada, J. a kol. Elektrotepelná technika. Praha: SNTL Praha, 1985
- [5] Gavlas, J., Židek, J. Elektrické teplo - návody do cvičení. Skriptum. Ostrava: VŠB Ostrava, 1990
- [6] Interní materiály společnosti Vítkovice, a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Král, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



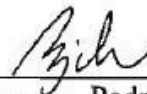

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava, 6.5. 2013

Místo a datum



Podpis

Richard Bejoch

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Vladimíru Královi, Ph.D., vedoucímu této diplomové práce za poskytnutí odborného vedení a literatury. Děkuji také panu Ing. Lukáši Milerskému za odbornou a technickou podporu a za užitečné rady. Děkuji také své rodině za podporu během celé doby mého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou taveb a optimalizací provozu elektrické obloukové pece ve společnosti Vítkovice a.s. Na začátku této práce je popsána základní teorie o obloukových pecích. Následně se práce zabývá samotnou optimalizací výroby a třemi praktickými úkoly, které jsou součástí problematiky optimalizace. Hlavním úkolem je vyhodnocení spotřeby elektrické energie v závislosti na hmotnosti tavby, kdy jsou rozebrány všechny tavby uskutečněné za určité období. Dalším úkolem bylo vyhodnocení parametrů pece po změně technologie. Dále pak práce pojednává o energetické náročnosti při tavení bez jednoho RCB hořáku.

Klíčová slova:

Elektrická oblouková pec, elektroda, transformátor, krátká cesta, tavba, hmotnost vylité oceli, RCB hořák

Abstract

This baccalaureate work concern meltage dilemma and running optimalization of electric arc furnace in company Vitkovice. At the start of this work is described basic theory about the arc furnace. Consequently this work concern optimalization of production and three practical tasks, which are part of optimalization dilemma. Main task is evaluation of power consumption, depending on weight of meltage, whereas are disassembly all meltages produced in certain period time. Next task was evaluation of oven parameters after modification of technology. The work further describe energy demand at melting without one RCB burner.

Key words:

Electric arc furnace, electrode, transformer, short way, meltage, weight of poured steel, RCB burner

Seznam použitých symbolů a zkratek:

CKP	cyklický klid pece
$\cos \varphi$	účinník (-)
DTP	detailní technologický popis
EOP	elektrická oblouková pec
NS	nákladové středisko
PLC	průmyslový počítač pro automatizaci procesů v reálném čase
RCB	rafiniční kombinovaný hořák
ŘISO	řídící systém ocelárny
THN	technologicko-hospodářská norma
UHP	pec s velmi vysokou výrobností
VN	vysoké napětí

Obsah

1	Úvod	1
2	Zařízení elektrických obloukových pecí	2
2.1	Konstrukce elektrické obloukové pece	2
2.2	Elektrický obvod obloukové pece	4
2.2.1	Odpojovač vysokého napětí	5
2.2.2	Výkonový vypínač vysokého napětí	5
2.2.3	Tlumivka	5
2.2.4	Pecní transformátor	5
2.2.5	Krátká cesta	7
2.2.6	Elektrody	8
2.2.7	Regulace pohybu elektrod	9
2.3	Rušivé vlivy elektrické obloukové pece na rozvodnou síť	9
2.3.1	Kompenzace účinníku	10
3	Výroba oceli v nákladovém středisku NS 320	11
3.1	Nákladové středisko NS 320 Ocelárna	11
3.2	Základní technická data elektrické obloukové pece č.5	11
3.3	Technologický postup při tavení	13
4	Vyhodnocení a optimalizace taveb	14
4.1	Vyhodnocení spotřeby elektrické energie v závislosti na hmotnosti tavby	14
4.2	Vyhodnocení parametrů EOP č.5 po změně technologie výroby oceli	16
4.3	Energetická náročnost taveb bez RCB hořáku	18
	Závěr	21
	Použitá literatura:	22
	Seznam tabulek	23
	Seznam obrázků a grafů	23
	Seznam příloh:	23

1 Úvod

S rostoucím vývojem aplikací diagnostických metod a řídicích programů měření energetického režimu EOP je velmi důležité, aby tyto aplikace byly schopny automaticky zpracovávat a vyhodnocovat velké množství dat, které pak dlouhodobě uchovávají. Výsledky pak mohou rozhodovat o nákupu surovin, popřípadě ovlivní nastavení výrobních cyklů a postupů při výrobě oceli. Také můžou být výsledky rozhodující v případě nákupu nových technologií nebo můžou rozhodovat o modernizaci celého zařízení. Tento postup označujeme jako optimalizaci tavení oceli v elektrické obloukové peci.

Pro pochopení celé problematiky je v úvodu práce popsáno konstrukční uspořádání elektrických obloukových pecí. V další části práce je popsán silnoprůdý elektrický obvod obloukové pece. Tento silnoprůdý obvod je její nejdůležitější částí, proto jsou jednotlivé části obvodu důkladně rozebrány.

Elektrické obloukové pece namáhají síť proměnlivými velmi vysokými proudy. Jejich hodnoty přesahují několikanásobně jmenovité hodnoty. Tyto proudy mají za následek kolísání napětí, což má negativní dopad na napájecí síť, proto je další část práce věnována rušivým vlivům, které na napájecí síť působí. Je zde uvedeno, jaké rušivé vlivy působí na napájecí síť a možnosti, jak tyto nežádoucí vlivy eliminovat.

Pro moji práci bylo klíčové středisko NS 320 Ocelárna, kde dochází k odlévání kovarenských, brámových a kruhových ingotů do 190 tun pro přímou expedici k jiným zpracovatelům nebo pro vlastní slévárnu. Proto jedna část slouží k představení a k popisu koncepce samotné ocelárny a seznámení se základními parametry EOP č.5. Popíšu také samotnou technologii tavení.

Dále se budu zabývat vyhodnocením příslušných dat z běhu elektrické obloukové pece EOP č.5 při tavně ocelové vsázky. K měření a vypracování příslušných úkolů bylo zapotřebí stáhnout a zpracovat data z průběhu tavení EOP č.5, model bude sloužit k vyhodnocení a optimalizaci chodu tohoto technologicky a energeticky náročného zařízení.

Budu se zabývat třemi praktickými úkoly. Hlavním úkolem bude vyhodnocení spotřeby elektrické energie v závislosti na hmotnosti tavby, kdy rozeberu všechny tavby vyrobené za určité období. Druhým úkolem bude vyhodnocení výroby oceli po zásadních změnách v procesu tavení, kdy došlo ke změně technologie. Posledním úkolem je zjištění energetické náročnosti taveb bez RCB hořáků.

V závěrečné kapitole zhodnotím celou praktickou část práce a navrhu optimalizované řešení výroby oceli ve společnosti Vítkovice.

2 Zařízení elektrických obloukových pecí

Elektrická oblouková pec je hutnický agregát pro výrobu oceli přetavením ze šrotu a kusového surového železa.

V elektrických obloukových pecích je taveno více než 40% z celkové produkce oceli ve světě. Maximální výkon pecí bývá až 200 MVA s obsahem vsázky překračujícím 400 t. Důsledkem navyšování výrobních kapacit je postupné nahrazování pecí s malým, a dále i středním a vysokým výkonem, pecemi s ultra vysokým výkonem. Standardní jednotky tohoto typu mají objem od 30 do 200 t tekuté oceli. [1]

Zdrojem tepla v EOP je elektrický oblouk generovaný transformováním elektrického proudu o vysokém napětí na elektrický proud o nízkém napětí a velmi vysokém proudu. Teplo se sáláním odevzdává kovové vsázce. V poměrně malém objemu elektrického oblouku je možno zkoncentrovat velmi vysoký výkon a dosáhnout velmi vysoké teploty, takže lze velkou rychlostí tavit a ohřívat kovovou vsázku na dostatečnou teplotu k tavení.

Obloukové pece dělíme podle druhu pracovního napětí na stejnosměrné nebo střídavé. Střídavé lze dělit na jednofázové a trojfázové. Dále můžeme rozlišovat pece podle typu vyzdívky, kdy jsou stěny pecní nádoby vyzděny ze zásaditých nebo kyselých materiálů.

EOP můžeme rozdělit také podle elektrických příkonů na:

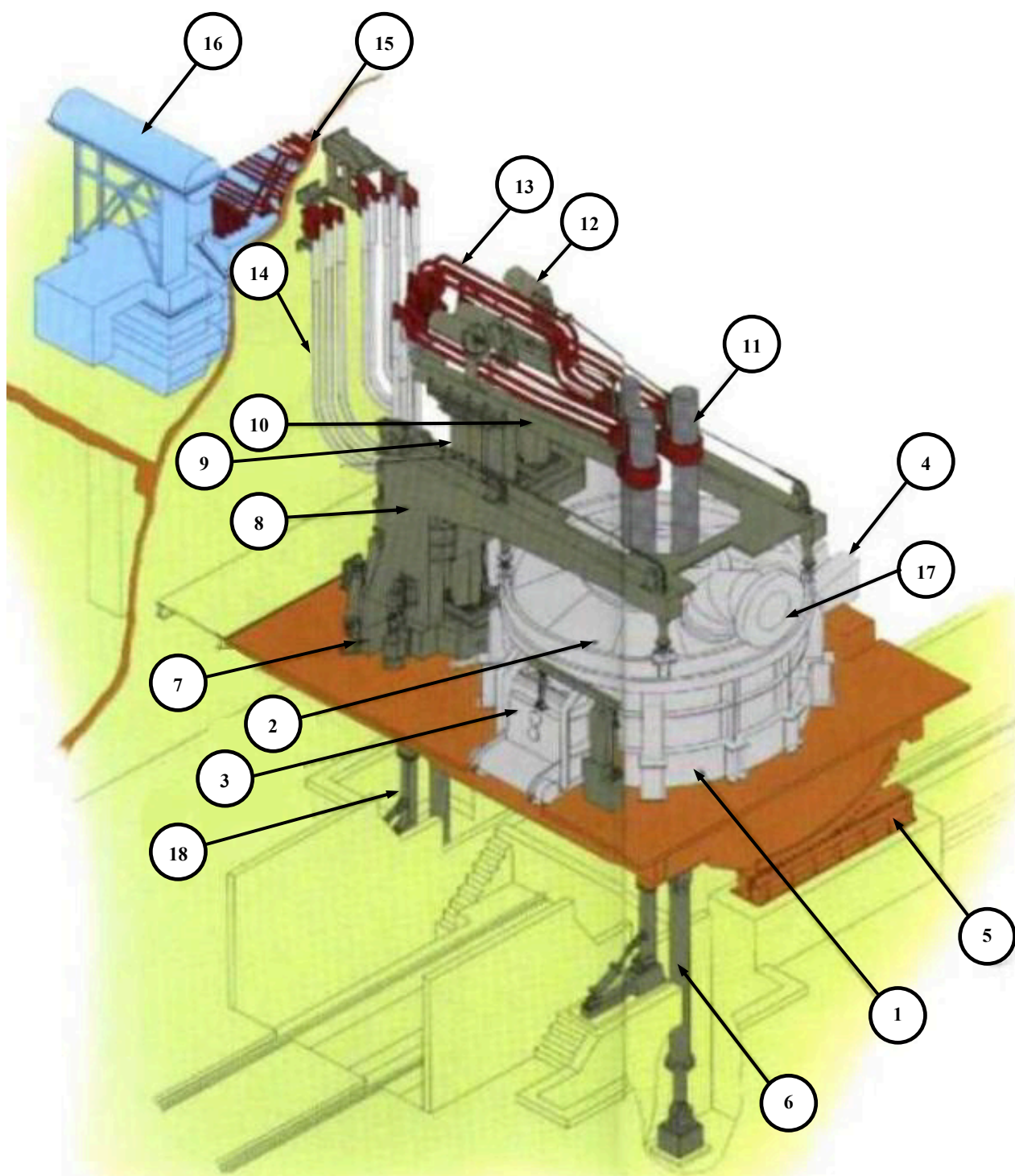
- běžné výrobnosti **RP** (regular productivity)
- vysoké výrobnosti **HP** (high productivity)
- velmi vysoké výrobnosti **UHP** (ultra high productivity)
- extrémně vysoké výrobnosti **SUHP** (super ultra high productivity)

Většina dnešních provozovaných EOP pecí je napájena střídavým napětím přiváděným třemi grafitovými elektrodami. Je tomu tak i u pece číslo 5 ve Vítkovicích.

2.1 Konstrukce elektrické obloukové pece

Elektrická oblouková pec se z konstrukčního hlediska skládá ze dvou částí, z elektrotechnické a mechanické. Mechanická část sestává z pecní nádoby vyzděné žáromateriály a z horní části – pancíře - s vodou chlazenými panely a víkem, které je rovněž chlazeno vodou. Celá pec může být vybavena sklápěcím systémem za účelem vyjití oceli přes odpichový otvor, nebo pro odvod strusky přes struskový otvor. Dále jsou součástí elektrody sloužící pro přívod elektrické energie, které procházejí skrz víko pece. Víko může být otáčeno pro potřeby sázení vsázky do pece. Také může být vybavena otvorem tzv. odtahem, kterým jsou odváděny z pece plyny, které vznikají v procesu výroby oceli. Tyto plyny se pak využívají jako odpadní teplo v dalších technologických procesech. Konstrukce jedné trojfázové pece je na obrázku 1, tento typ je dnes nejrozšířenější. [2]

V příloze na straně 25 jsou dvě fotografie EOP č. 5 na středisku NS 320 ve společnosti Vítkovice a.s.



Obr. 1 - Konstrukční uspořádání klasické EOP na střídavý proud

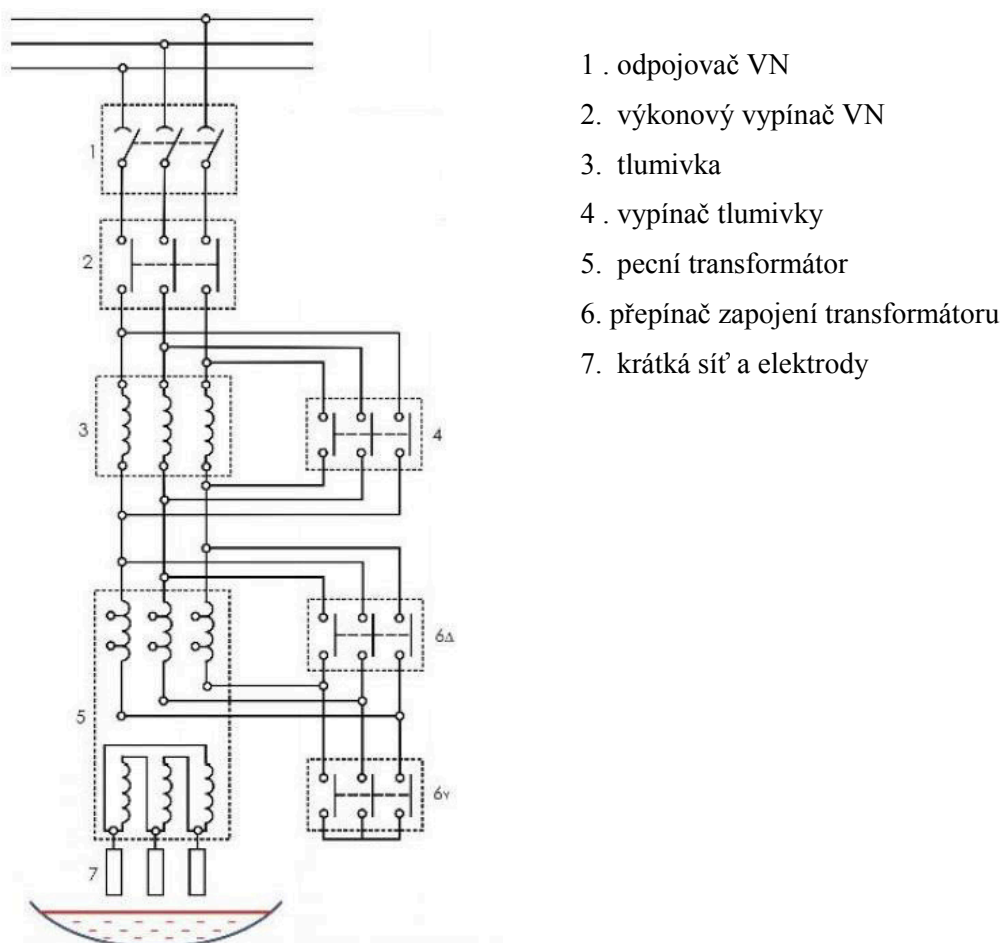
1. pecní nádoba, 2. víko, 3. vsázeční dvířka, 4. odpichový otvor, 5. naklápění pece, 6. hydraulika naklápění, 7. stojan víka, 8. podpěra víka, 9. zvedací mechanismus víka, 10. ramena elektrod, 11. elektrody, 12. držák elektrod, 13. vodou chlazené vodiče, 14. krátká cesta, 15. výstup z transformátoru, 16. transformátor, 17. odtahový otvor

2.2 Elektrický obvod obloukové pece

Elektrické zařízení obloukové pece se podílí největší měrou na pořizovacích nákladech a značně ovlivňuje její chod. Jednotlivé části elektrického zařízení obloukových pecí si můžeme rozdělit nejlépe podle jejich funkce:

- silnoproudý elektrický obvod,
- obvod automatické regulace pohybu elektrod,
- měřicí přístroje, ochrany, blokování a signalizace,
- řídicí počítač.

Nejdůležitější skupinu tvoří silnoproudý elektrický obvod. Ten představuje převážnou část hodnoty elektrického zařízení pece a má podstatný vliv na její chod. Druhou podstatnou částí je obvod automatické regulace pohybu elektrod. Úkolem silového obvodu je přivést elektrickou energii do pracovního prostoru pece a přeměnit ji na teplo. [3] Silový obvod trojfázové obloukové pece je schematicky znázorněn na obrázku 2 [2].



Obr. 2 - Elektrické schéma EOP

2.2.1 Odpojovač vysokého napětí

Vysokonapěťový odpojovač slouží k odpojení pece od sítě. Jeho zapnutí a vypnutí je možné jen tehdy, když jsou elektrody mimo pecní nádobu, tedy bez oblouku. Odpojovač VN spíná 25 krát - 50 krát za směnu, podle počtu taveb. Patří mezi nejvíce namáhanou elektrickou součástku pece, proto jsou kladeny vysoké nároky na jeho spolehlivost. Nejčastější vypínače bývají vakuové, olejové, nebo tlakovzdušné. Vypínač musí být dimenzován tak, aby stoprocentně vypnul zkratový proud, který vypíná automaticky.

2.2.2 Výkonový vypínač vysokého napětí

Vypínač slouží k připojení tlumivky a přívodního vedení k pecnímu transformátoru. Většinou bývají ruční nebo tlakovzdušné.

2.2.3 Tlumivka

Je zapojena v napájecí síti mezi výkonovým vypínačem a pecním transformátorem a má za úkol omezovat hodnoty zkratových proudů, které vznikají při dotyku elektrod se vsázkou. Tlumivka je obvykle zapojena do série s primární stranou transformátoru trojúhelníka, při přepnutí do hvězdy se tlumivka z obvodu vyřadí.

Funkce tlumivky při tavně:

- tlumí proudové nárazy při začátku tavy
- chrání transformátor před zkratovými proudy
- stabilizuje hoření oblouku
- zvyšuje indukční odpor obvodu EOP

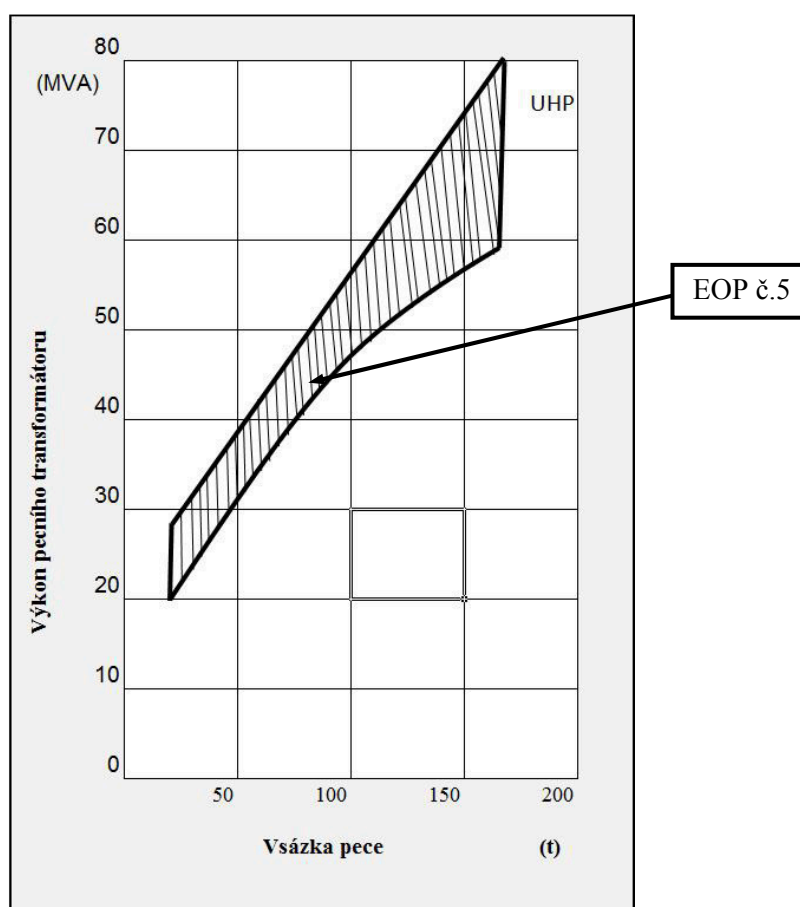
Zařazením tlumivky do systému dojde ke zlepšení stability oblouku, ale ke zhoršení účinnosti pece. Při ustáleném hoření oblouku se tlumivka vyřadí a to proto, aby indukční odpor tlumivky nesnižoval účinník $\cos \varphi$.

2.2.4 Pecní transformátor

Na jmenovitém výkonu pecního transformátoru závisí výrobní kapacita elektrické obloukové pece, proto je nejdůležitější částí elektrického obvodu. Transformátor mění vysoké primární napětí 6 až 22kV na pracovní napětí 300 až 900 V. Pracuje se značně proměnlivým zatížením a při častých zkratech, které jsou způsobeny dotykem elektrod se vsázkou. Regulace sekundárního napětí se provádí v širokých mezích změnou počtu závitů primárního vinutí.

Volba výkonu pecního transformátoru se provádí podle maximální velikosti taveb a podle předpokládané roční produkce oceli. Na obrázku 3 je zobrazena závislost výkonu na velikosti vsázky. Zpravidla by se měl transformátor, pro UHP pece, volit tak, ať na každou tunu pecní vsázky připadá výkon od 0,5 MVA do 1 MVA.

Transformátory bývají zpravidla na trojfázové napětí, chlazené olejem, pro rudnotermické pece se používají tři jednofázové. Bývají obvykle umístěny v tzv. kobce, jde o samostatně oddělenou místnost vedle pece.



Obr. 3 - Závislost výkonu pecních transformátorů na velikosti vsázky

Z obrázku 3 je patrné, že EOP č.5 je typu UHP, jde tedy o zařízení velmi vysoké výrobnosti. Výkon pecního transformátoru je 42 - 46 MVA a průměrná hmotnost vsázky je 75 t. Transformátor pro Vítkovice vyrobila italská firma Tamini, jde o vnitřní třífázový, olejem chlazený transformátor umístěný v uzavřené kobce, která má za úkol chránit zařízení před těžkým prachem a vzdušnou vlhkostí. Transformátor má jmenovitý výkon 42 MVA ale lze ho krátkodobě přetěžovat až na 46 MVA. Jeho nejdůležitější parametry jsou shrnuty v tabulce 1.

Transformátor Tamini		
Typ	třífázový pecní transformátor	
Umístění	vnitřní (chráněny uzavřenou místností)	
Jmenovitý výkon	42(46) MVA	
Rozsah napětí	primární	22 kV
	sekundární	447-850 V
Rozsah proudu	primární	1102 A(42MVA) – 1207A(46MVA)
	sekundární	37,25kA(42MVA) - 40,8kA(46MVA)
Frekvence	50 Hz	
Chlazení	olejové a vzduchové	

Tab. 1 - Parametry transformátoru Tamini

Výkon transformátoru Tamini v průběhu tavby lze měnit přepínáním mezi jednotlivými výkonovými stupni. Transformátor je vybaven osmnácti regulačními stupni.

2.2.5 Krátká cesta

Krátká cesta nebo také krátká síť je elektrické vedení mezi průchodkami transformátoru a držáky elektrod. Tyto vodiče jsou pevně uloženy na ramenech, které jsou řízeny pomocí automatické regulace. Část krátké cesty je zobrazena na obrázku 4.

Krátkou cestu dělíme do několika částí:

- pásová část
- ohebná lana
- vodiče ramen elektrod
- držáky elektrod
- elektrody a spojky

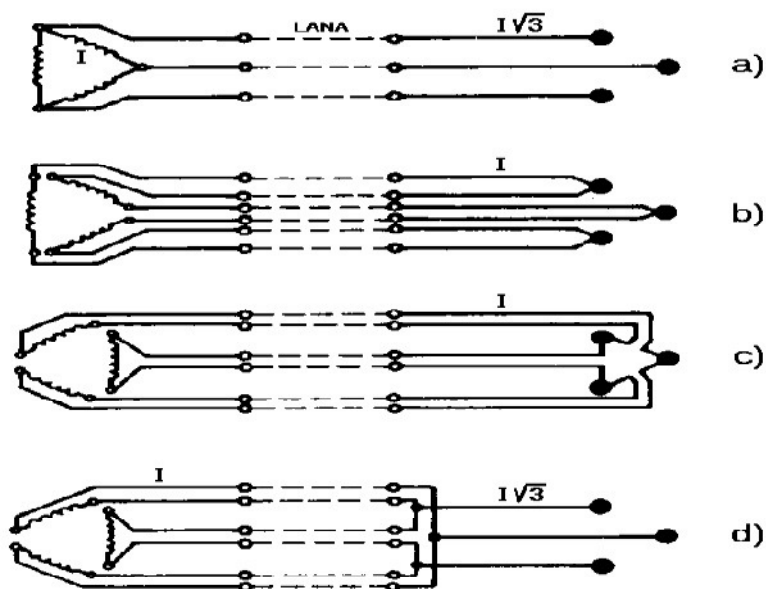
Při přenosu velkého výkonu při nízkém napětí, které se získá v transformátoru, způsobují činné a jalové odpory v celé délce krátké sítě velké ztráty. Aby se snížily, musí být délka obvodu co nejkratší. Tato podmínka je důležitá zejména při přenosu velkých výkonů a musí se neustále sledovat při navrhování elektrického zařízení obloukové pece. Činný odpor krátké sítě lze snížit zvýšením průměru vodiče nebo tím, že se použije místo jednoho větší počet paralelních vodičů. Nevýhodou tohoto řešení je, že vlastní indukčností a vzájemnou nesouměrností vodičů vznikají v jednotlivých fázích reaktanční složky, které způsobují potíže při hoření oblouku v jednotlivých fázích. Při velkých výkonech se vodiče chladí vodou, protože se tím zvyšuje jejich proudová zatížitelnost a zmenšuje se průřez. Zmenšením průřezu vodičů se sníží i hmotnost, tím klesá mechanické namáhání ramen.[6]



Obr. 4 - Pásová část krátké cesty a ohebná lana k vodičům elektrod

Činný odpor krátké cesty lze zmenšit pomocí bifilárního zapojení, tím se také zlepši účinnost celé pece. U tohoto zapojení se indukčnost krátké cesty v jednotlivých vodičích kompenzuje protichůdnými složkami proudu. Podmínkou provedení bifilárního spojení jsou vhodné vývody sekundárního vinutí pecního transformátoru dosažitelné mimo vlastní transformátor. Dokonalé vyrovnání indukčnosti lze provést však jen při bifilárním spojení až po elektrody a při spojení vývodů sekundárního vinutí transformátoru až na elektrodách. [3]

Na obrázku 5 jsou schémata několika možných druhů provedení krátké cesty. Ve schématech a) až d) je naznačeno výstupní vinutí pecního transformátoru zapojené do trojúhelníku, což je prakticky vždy. Rozdíl však je v tom, kde je toto vinutí skutečně do trojúhelníku spojeno. Na obr. 13a) je spojeno těsně v transformátoru nebo na víku transformátoru. Na obr. 13b), c) je spojeno až na elektrodách. Na obr. 13d) je spojeno za ohebnými lany, takže po ramenech elektrod prochází sdružený proud pouze třemi vodiči. [4]



Obr. 5 - Různé druhy zapojení krátké cesty

2.2.6 Elektrody

Elektrody jsou poslední částí krátké cesty a slouží k přívodu elektrické energie do pracovního prostoru pece. Jsou upevněny do vodou chlazených držáků, které se skládají z pohyblivé a pevné části. Pevná část se skládá z přitlačných pružin, které zajišťují trvalý dotyk s elektrodou. Pohyblivá část slouží k automatické regulaci výkonu hořícího oblouku. Ramena elektrod jsou ovládána pomocí hydraulických válců nebo pomocí elektromechanického pohonu. U moderních pecí je nejrozšířenější hydraulický systém, ten je schopný velmi rychle a přesně regulovat elektrický oblouk. Ramena jsou vyráběna z nemagnetických materiálů, nedochází tak k magnetizaci a k vytvoření vířivých proudů a hysterezních ztrát.

Na elektrody jsou kladeny určité nároky. Mezi nejdůležitější patří jejich vysoká elektrická vodivost, nízký odpor a malá teplotní roztažnost. Dále nesmí vsázku při tavení znečišťovat nežádoucími příměsemi. Musí být také dostatečně pevné a odolné, neměly by se poškodit při manipulaci. Jejich tvar bývá nejčastěji válcový. Tyto elektrody se šroubují na již zavedené elektrody v peci tak, aby nevznikl žádný zbytek.

Na výrobu elektrod se používají přírodní nebo syntetické materiály obsahující až 90% uhlíku, patří mezi ně antracit, grafit, smolný koks, černouhelný koks a naftový koks. Kvalita elektrod ovlivňuje ztráty elektrické energie. Z uhlíkových, grafitových a samospékacích elektrod, které se vyrábějí, se pro výrobu oceli používají nejčastěji grafitové elektrody. Jejich kvalita je v porovnání s ostatními největší, mají nejlepší mechanické a elektrické vlastnosti.

Grafitové elektrody se vyrábějí z retortového uhlí, směsi antracitu, koksu, pryskyřice a přírodního grafitu. Jsou vyráběny stejně jako uhlíkové elektrody, jen s tím rozdílem, že jsou vypalovány až do 2700 °C, uhlík se tak přemění v grafit. Mají tak větší dovolenou proudovou hustotu než elektrody uhlíkové. Jejich nevýhodou je ale vyšší výrobní cena.

2.2.7 Regulace pohybu elektrod

U většiny dnešních obloukových pecí je pohyb elektrod ovládán automatickým regulátorem, který reaguje na změnu hodnot napětí a proudu, naměřených na elektrodách. Mechanismus pohybu elektrod se uvádí v činnost buď pomocí stejnosměrných elektromotorů, nebo hydraulických válců. Jejich úkolem je zajistit pohyb elektrod směrem nahoru a dolů, a to podle změny hodnot proudu a napětí na každé fázi. Celý systém regulace zdvihu elektrod je řízen automaticky.

Úkolem automatické regulace polohy elektrod je zachovávat po určitou dobu konstantní množství energie přiváděné do pracovního prostoru pece nezávisle na neustále se měnících podmínkách. Na regulátoru požadujeme především dostatečnou rychlost regulace, aby byl co nejdříve nastaven po výchylce znovu optimální stav. Jelikož však prakticky nemáme regulátor s okamžitou odezvou, vzhledem k setrvačnosti hmot zvedaných částí a zpoždění v samotném systému regulátoru, musíme počítat s určitou dobou odezvy, tj. dobou, která uplyne od vydání povelu k novému nastavení do okamžiku, kdy elektroda skutečně zaujme novou polohu. V této době může však v peci nastat již zase nový stav vzhledem k velmi rychlým změnám při hoření oblouku. Jsou to především změny při přeskakování paty oblouku z jednotlivých kusů vsázky na druhé vlivem hoření oblouku na špičkách a hranách, dále vlivem rozdílné ionizace zóny hoření oblouku a smyčkovým pohybem oblouku při změnách proudového zatížení v sousedních obvodech. Na změny tohoto charakteru není schopna automatická regulace polohy elektrod reagovat okamžitě.

Nejrozšířenějším systémem regulace je proudově-napěťová, nebo také diferenciální regulace, při níž se regulátor snaží udržet nastavený poměr napětí a proudu konstantní. Výhodou proudově-napěťové regulace je schopnost zapálit samočinně oblouk a dále to, že narušení regulované veličiny v jedné fázi nepůsobí na regulátory ostatních fází. [3]

2.3 Rušivé vlivy elektrické obloukové pece na rozvodnou síť

Oblouková pec je energeticky velmi náročný spotřebič elektrické energie, který je jedním z největších zdrojů energetického rušení, které v průmyslu známe. Provoz pece doprovází vznik zkratů, kolísání napětí, nesymetrie a podobně. Protože se toto velké rušení přenáší na rozvodnou síť, je provoz elektrické obloukové pece doprovázen instalací kompenzačního zařízení, jehož úkolem je nejen kompenzovat jalový výkon spotřebovávaný tímto spotřebičem, ale také v maximálně možné míře eliminovat jím generované rušení.

Mezi nejvíce hlídané parametry, které ovlivňují rozvodnou síť, patří zejména flikry, napěťové a proudové nesymetrie, napěťové a proudové kolísání, harmonické proudy, dohodnutý hodinový odběr, čtvrt hodinová maxima a účinník $\cos \varphi$. Provozovatel obloukové pece je povinen tyto rušivé vlivy co nejvíce omezovat. Na základě smluvního ošetření může být, při překročení dohodnutých hranic, provozovatel této obloukové pece pokutován.

2.3.1 Kompenzace účinníku

Během tavby silně kolísá účinník $\cos \varphi$. Při $\cos \varphi = 0,7$ je odběr jalového činného proudu stejně velký, snažíme se účinník maximálně zvýšit. Až do šedesátých let se připouštěl $\cos \varphi$ 0,82 až 0,85. Tato hodnota představovala přijatelný kompromis mezi elektrickým výkonem a stabilitou oblouku, protože u obloukových pecí umožňuje nízký $\cos \varphi$ udržovat krátký oblouk. Při natavování se však délka oblouku stále mění podle toho, jak se vsázka sesouvá. Ačkoli přitom zůstává činný výkon relativně stejně velký jako jalový, kolísá zdánlivý výkon v širokých mezích. Tyto anomálie způsobují výkyvy napětí v síti a mají nepříznivý vliv na ostatní odběratele. Kolísání napětí nelze zcela odstranit. Lze ho však omezit na přijatelnou míru připojením na tvrdou síť, tj. na nejvyšší dosažitelné a ekonomicky odůvodnitelné napětí. Ke stabilizaci napětí přispívá také kompenzace, která může být přímá a nepřímá.

U přímé kompenzace se induktivní složka vyrovnává změnou kapacit, u nepřímé se doplňuje kolísající jalový výkon na konstantní hodnotu (tj. kompenzuje se) neproměnnými bateriemi. Druhý způsob se používá u malých pecí. U obloukových pecí se nejčastěji setkáme se statickou kompenzací, která má několik výhod oproti rotačním kompenzátorům. Schéma kompenzačního zařízení EOP č.5 je v příloze na straně 24.

Ukazatelem provozu elektrické obloukové pece je účinník, který udává podíl celkového proudu a činné složky. Při správné kompenzaci je u obloukových pecí 0,85 až 0,90. Další zvyšování účinníku je výhodné pouze tehdy, pokud je cena za energii vyšší než pořizovací náklady zařízení.[7]

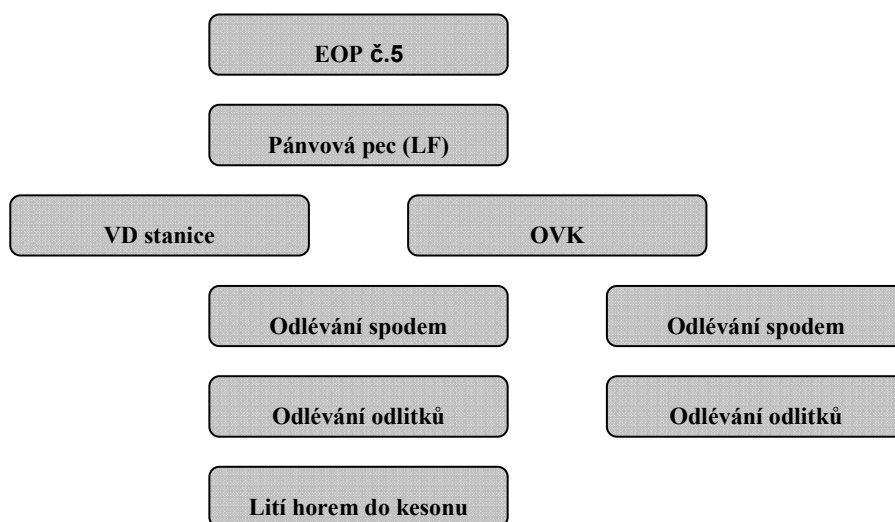
3 Výroba oceli v nákladovém středisku NS 320

3.1 Nákladové středisko NS 320 Ocelárna

Společnost Vítkovice a.s., celým jménem VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., je rozdělena na několik nákladových středisek: NS 320 Ocelárna, NS 330 Slévárna, NS 340 Kovárna, NS 370 Těžká mechanika, NS 371 Montáž.

V ocelárně VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. byly původně 3 tavicí agregáty. Nejmodernějším zařízením, a dnes už jediným funkčním, je EOP č.5, která byla v roce 2006 modernizována a to včetně řídicího systému ocelárny. EOP č.5 má teoreticky maximální výkon 417 000 t/rok, tato hodnota převyšuje současnou produkci ocelárny více než 2x a pec dnes zajišťuje přibližně 90% produkce ocelárny.

Elektrická oblouková pec je situovaná v technologické lince, jejíž schéma je na obrázku 6. Hmotnost tavby je řízena požadavky zákazníků a pohybuje se mezi 30 – 75 t, průměrná doba jedné tavby je 80 min. EOP je vybavena kyslíko-palivovými hořákovými boxy pro intenzifikaci tavení, dále pak systémem foukání prachového uhlí (k tvorbě napěněné rafinační strusky) a bezstruskovým půdním odpichovým otvorem.



Obr. 6 - Schéma technologické linky střediska NS 320

Postup při zpracování odlévání oceli se řídí pokyny technologa podle požadavků objednávky na jakost oceli a je uveden v Řídicím Systému Ocelárny. Výrobní program je uveden v denní objednávce oceli, stanoven v detailním technologickém popisu (DTP), případně technologickou směrnicí nebo technologickým pokynem. [5]

3.2 Základní technická data elektrické obloukové pece č.5

EOP č.5 je moderní pec vybavena třemi kyslíko-palivovými hořáky, které slouží zejména k roztavení kovonosné vsázky a odfosfoření oceli. Ocel v EOP lze případně dolegovat Ni a Mo. V peci lze rovněž vyrábět vysoce legované nerezavějící oceli. Ty se vyrábějí redukční přetavbou s vypnutými kyslíko-palivovými hořáky.

Nosná ramena elektrod jsou elektrovedná vodou chlazená a jsou vyrobené z poměděné oceli. Síla elektrodového upínacího systému je vytvářena pomocí talířových pružin. Půda pece je dusaná a spodní část nístěje vyzděná MgO-C vyzdívkou. Horní část pece nad čarou tekuté oceli je vybavena vodou chlazenými panely. Víko pece je vodou chlazené se zděným „srdcem“. Teplota chladicí vody je

monitorována prostřednictvím PLC. Sledovány a zobrazovány jsou vstupní a výstupní teploty vody, průtokové rychlosti vody a tlak vody.

Přímé odsávání pece je přes 4. otvor ve víku. Spaliny odcházejí vodou chlazeným potrubím přes cyklon, který spaliny čistí od hrubých částic. Dále spaliny pokračují k filtrační stanici. Před filtrační stanicí se pomocí regulačních klapek přisává podle potřeby vzduch pro snížení teploty spalin pod 130°C (max. dovolená teplota spalin před filtrem je 180°C). Čištění ve filtrační stanici probíhá na principu suchého čištění pomocí textilních pytlů. Nepřímé odsávání je řešeno odsáváním atmosféry z celé pecní haly tzv. „elefant house“. Všechny důležité parametry pece jsou popsány v tabulce. [5]

Hlavní parametry	
Typ pece	EAF-EBT
Výrobce	VAI - Fuchs
Nominální odpichová hmotnost	70 t
Maximální množství tekuté oceli v peci	85 t
Maximální tekutý zbytek v peci	35 t
Doba cyklu (tap to tap) - projektovaná	72 min
Vnitřní průměr spodní části nístěje	5 500 mm
Vnitřní průměr horní části nístěje	5 620 mm
Systém regulace elektrod	ARCOS – NT
Průměr elektrod	508 mm
Průměr roztečné kružnice elektrod	1 000 ± 50 mm
Pecní transformátor TAMINI	
Jmenovitý výkon	42/46 MVA
Primární napětí	22 kV
Sekundární napětí	447 – 651 – 850 V
Frekvence	50 Hz
Počet regulačních stupňů	18
Hořáky	
3 ks. RCB hořáků	3 x 3,5 MW
Režim kyslíko-palivový hořák – spotřeba kyslíku	700 m ³ N/h
– spotřeba plynu	350 m ³ N/h
Režim zkujňování kyslíkem – spotřeba kyslíku	1 300 m ³ N/h
– spotřeba plynu	100 m ³ N/h
2 ks. injektážních trysek prachového uhlí pro napěňování strusky	10 – 50 kg/min
Naklápění pece	
Systém	hydraulický
Úhel naklopení na odpichovou stranu	max. 18°
Úhel naklopení na struskovou stranu	max. 8°

Tab. 2 - Parametry pece EOP č.5

Pec je vybavena pátým otvorem pro přidávání přísad během procesu tavení a oxidace. Na úrovni +13,3 m je umístěn mezizásobník o objemu 1,49 m³, ze kterého je možno poslat skluzem připravené přísady do pece pátým otvorem nebo do pánve během odpichu. Vápno, dolomit, koks a ruda jsou umístěny v pěti velkých zásobnících o objemu 17 m³. Legující přísady (FeMnC, FeCr8, SiMn), syntetická struska a topex jsou umístěny v pěti malých zásobnících o objemu 7 m³. Přísadový systém pracuje plně automaticky. Po zadání požadavků se přísady ze zásobníku přes tenzometricky vážící pás dopravují korečkovým systémem dopravníku do mezizásobníku nad pecí. Přísady jako FeSi, FeCr, FeMo, MoO₃ jsou připraveny v kontejnerech na pecní plošině a navážené množství těchto přísad je

možné poslat dopravníkem do mezizásobníku. Ni-kat. je také připraven pro použití na pecní plošině.[5]

3.3 Technologický postup při tavení

Před tavbou se pec nejdříve naplní kovovou vsázkou, která je zde nasypána pomocí sázecího koše o nosnosti 50 t, jde takřka o 100% kovový šrot. Dále se přidá až 2 tuny vápna, dolomit, koks a ruda. Po naplnění se uzavře víko pece a elektrody se nastaví do výchozí polohy. Při zapnutí výkonového vypínače začnou ramena s elektrodami sjíždět do místa prvního zapálení oblouku. Celý pohyb je řízen automaticky pomocí systémové regulace zdvihu elektrod. Vsázka v peci se začne natavovat. Celý průběh tavení je pečlivě hlídán pomocí senzorů, které snímají hodnoty, mezi které patří teplota, průtok a tlak chladicí vody, teplota vsázky, velikost proudu a napětí v jednotlivých fázích, odebíraný výkon, účinník, spotřeba technických plynů kyslíku a zemního plynu v RCB hořácích a další. Všechny tyto hodnoty jsou zaznamenávány, vyhodnocovány a následně pomocí automatického regulačního režimu udržovány v určitých mezích. Tyto meze jsou nastavené v příslušném technologickém postupu, ty sestavuje technolog ocelárny. Naměřená data jsou dlouhodobě archivována pro případné vyhodnocování průběhu jednotlivých taveb a jejich pozdější optimalizaci.

V průběhu tavby se odebírají vzorky, ze kterých se zjišťuje v měřicí laboratoři obsah jednotlivých chemických prvků. Před samotným vylitím tavby do formy dochází k legování jednotlivých chemických prvků tak, aby odpovídaly požadavkům na výslednou tavbu. Toto legování se provádí přidáváním přísad, mezi které patří například nikl, hliník, chrom, titan atd. Jednotlivé hodnoty jsou legovány jen do určitých mezí. Přesné dolegování se pak provádí na LF peci.

Když je vše připraveno pec se nakloní o 18° a na plošinu pro odpich je přiveden signál pro odpichové procedury. Následně je z tavby odlito požadované množství taveniny a pec se naklání do polohy pro odstranění strusky. Při tomto náklonu struska přeteče na stranu, kde se nachází dvířka, přes která se slévá do struskové koliby. Tím je ukončen jeden cyklus tavení a vše se může opakovat.[7]

4 Vyhodnocení a optimalizace taveb

Pronikáním počítačů do všech technických oborů a postupným zdokonalováním jejich vlastností dochází ke stále většímu využití počítačů pro aplikace zcela odlišného charakteru. K přímému řízení výrobních pochodů se uplatňují počítače, které mají potřebné vlastnosti k přímému řízení výrobních pochodů v reálném čase. Jsou to tzv. řídicí počítače, které využívají integrované obvody, dokonalejší periferní zařízení pro styk s vnějším prostředím a zdokonalenou logickou strukturu počítače. [8]

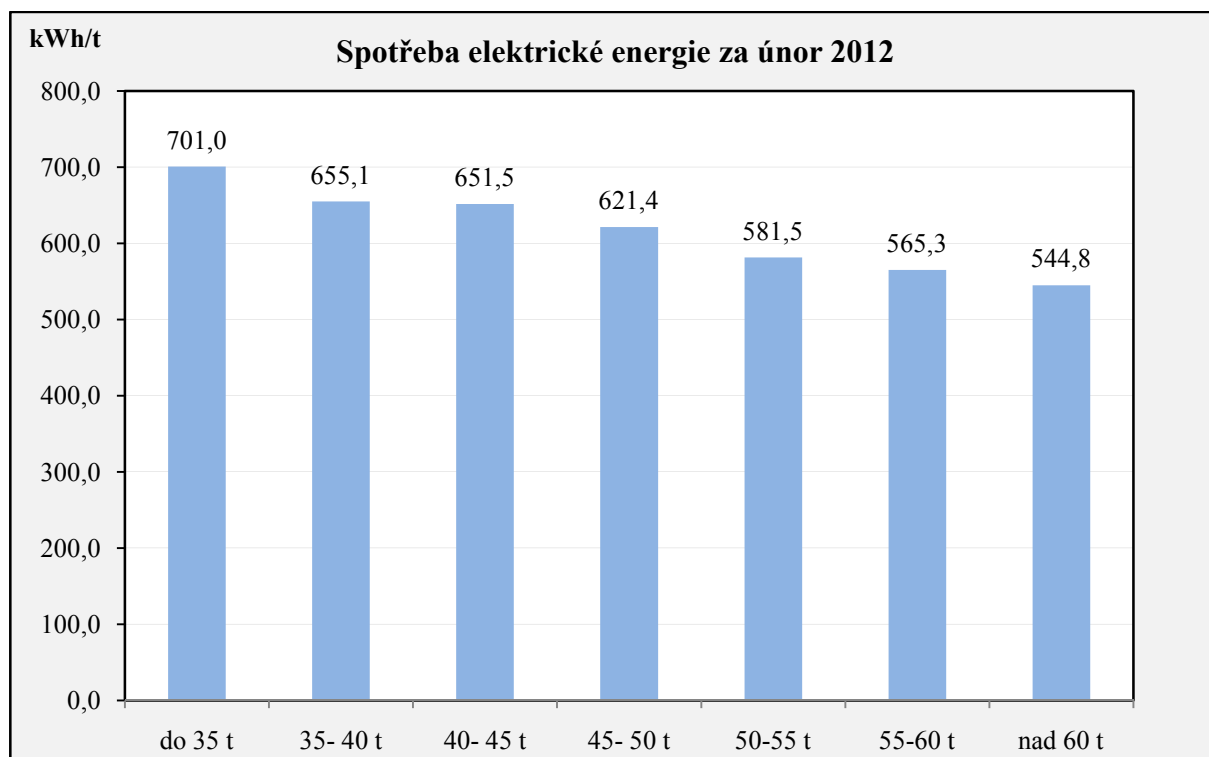
Všechna data z průběhu tavení jsou vyhodnocována a archivována pomocí různých výpočetních systémů. Systém pro řízení samotné tavby umožňuje aktivně vstoupit do procesu tavení, je řízen pomocí PLC od firmy Siemens, jde o velmi rychlý a spolehlivý řídicí počítač. Tavič díky němu může přepínat různé napěťové stupně, vypínat a zapínat RCB hořáky, ovládat dopravníkový systém, může taky sledovat teploty, tlaky, průtoky a jiné důležité ukazatele tavby. Tyto PLC jsou ve velínu EOP č.5 dva. Při výpadku jednoho z nich slouží druhý jako záložní. Tavič tak může od jednoho přejít rychle na druhý. Jedním z dalších systémů používaných na středisku NS 320 je ŘISO - řídicí systém ocelárny. Jde o nadřazený systém, který obsahuje takřka všechna data potřebná pro chod ocelárny. Najdeme v něm informace o energiích, o tavnách, o složení oceli a tak dále.

Data z průběhu tavby lze vyexportovat do tabulkového procesoru Microsoft Excel, kde jsou určena pro další zpracování. Z těchto naměřených dat lze sestavovat tabulky a grafy. Hlavní výhodou těchto výpočetních systémů je automatizované zpracovávání a shromažďování dat z procesu tavení.

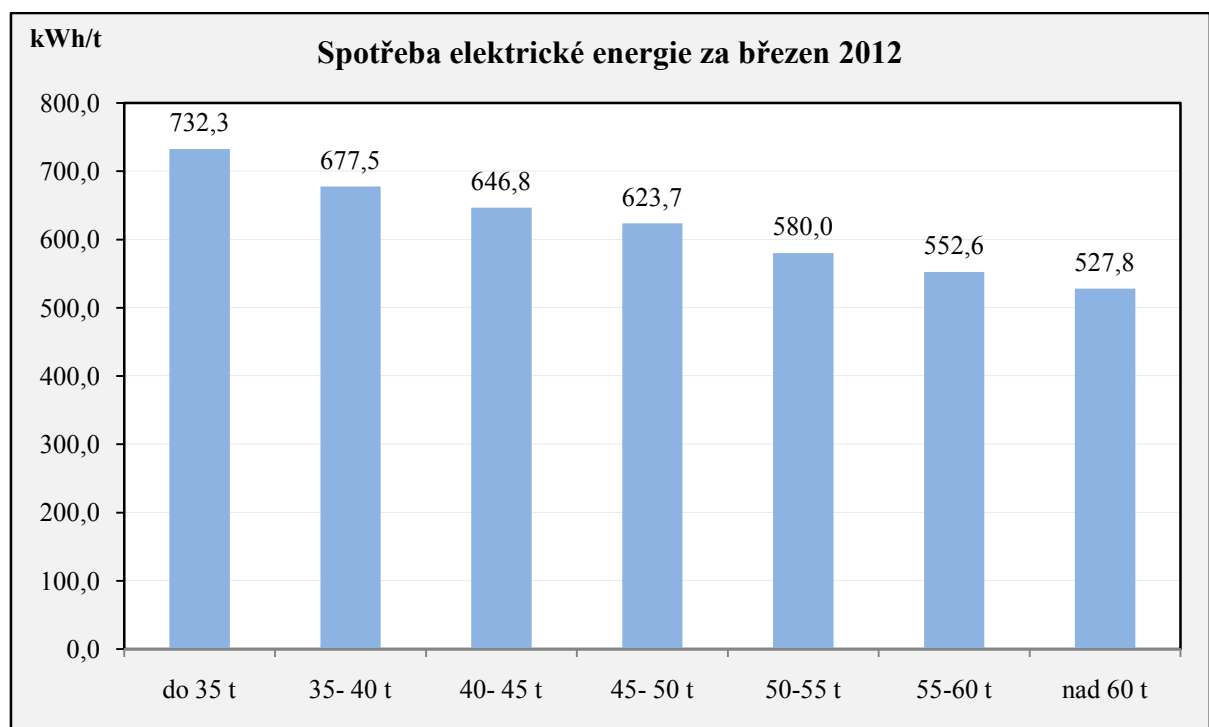
4.1 Vyhodnocení spotřeby elektrické energie v závislosti na hmotnosti tavby.

Při vyhodnocení spotřeby elektrické energie v závislosti na hmotnosti tavby jsem vycházel z dat za druhý, třetí a čtvrtý měsíc roku 2012. Tavby jsem musel protřídit a to tak, že jsem eliminoval všechny tavby po cyklickém klidu pece (CKP). Jde o nájezdové tavby po odstavení pece, kdy je pec zcela vychladlá a bez tekutého zbytku, musí se tak roztavit o 15t více šrotu. Energeticky jsou tyto tavby daleko náročnější, proto bylo nutné je vynechat, aby nezkrášlovaly výsledné grafy.

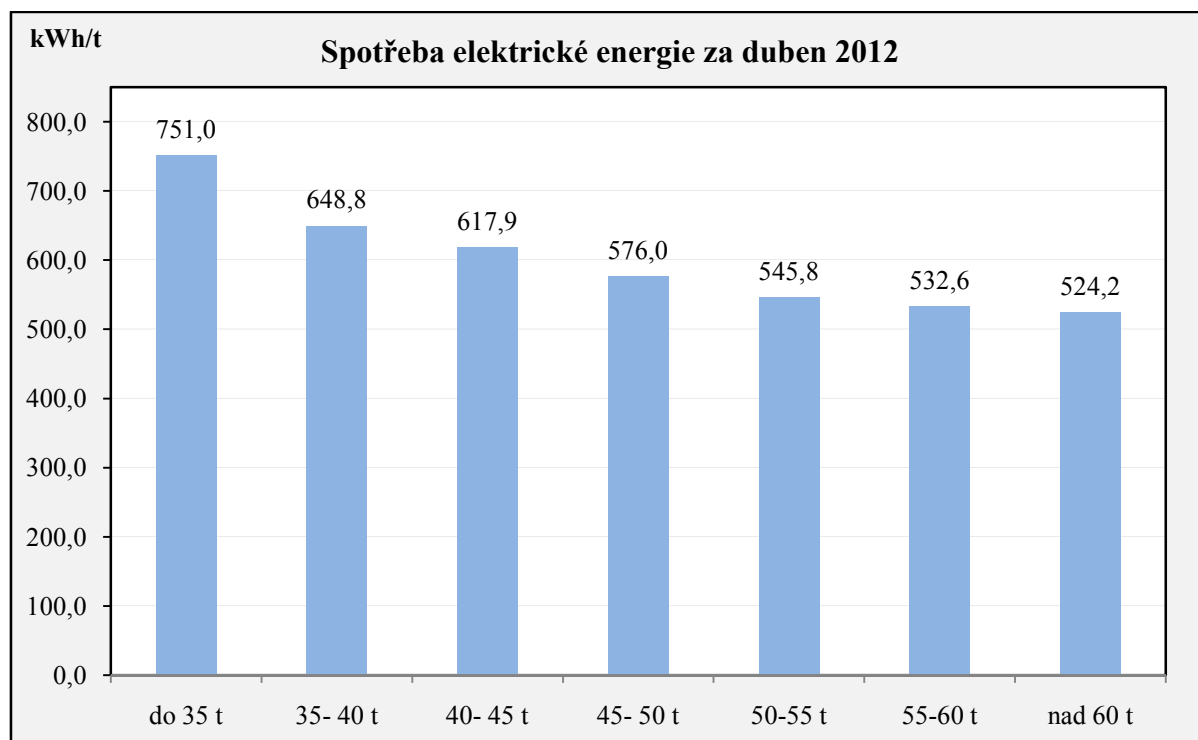
Tavby jsem uspořádal od 35 t do 60 t a více, vždy po 5t, podle hmotnosti vyrobené oceli, která byla vylita do pánve. Z těchto dat jsem sestrojil tabulky (jsou součástí elektronické přílohy) a grafy, nejdůležitější je graf spotřeby tavicího proudu (grafy 1, 2 a 3). Z nich je patrné, že se zvětšující se hmotností vylité oceli, klesá i množství energie potřebné na výrobu jedné tuny. Proto je ideální provozovat pec na co možná největší hmotnost vylité tavby. Sortiment výroby na ocelárně ale požaduje vyrábět tavby od 30 t po 75 t. Ocelárna se snaží plnit podle technologicko-hospodářské normy (THN), ve které je doporučeno pohybovat se pod hranicí 590 kWh na jednu tunu vyrobené oceli. Toho lze docílit u taveb, kdy je hmotnost vyrobené oceli vylité do pánve 50 t a více.



Graf 1 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za únor 2012



Graf 2 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za březen 2012



Graf 3 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za duben 2012

4.2 Vyhodnocení parametrů EOP č.5 po změně technologie výroby oceli.

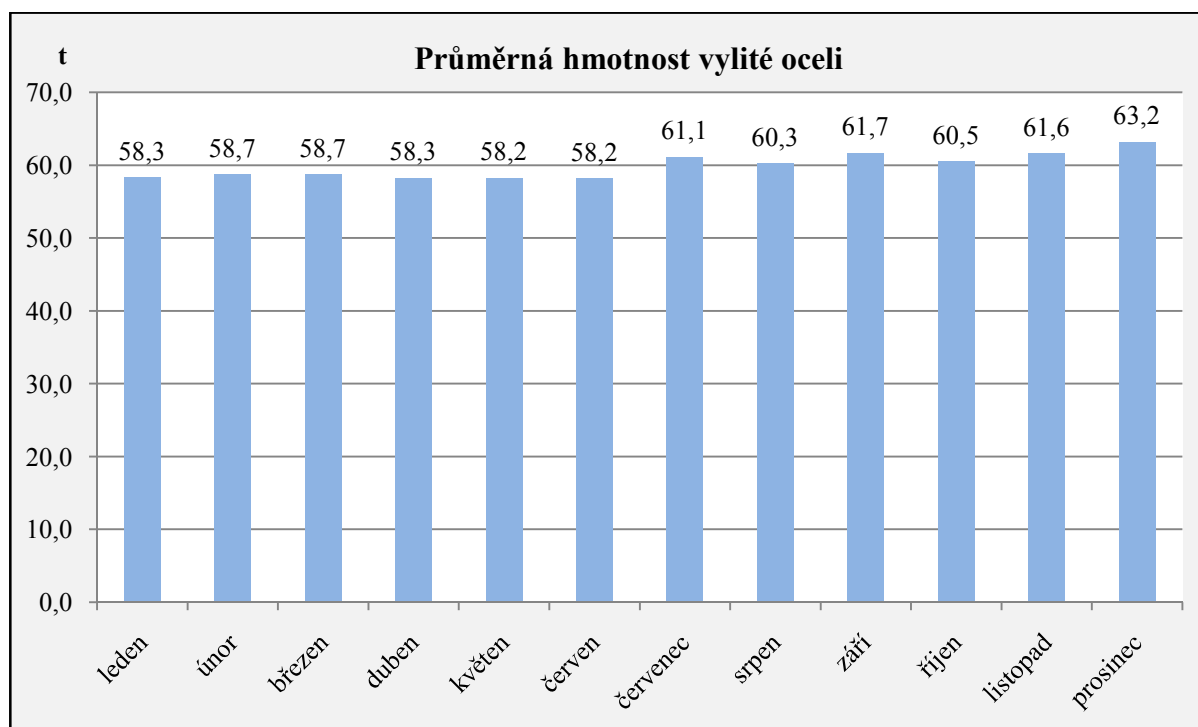
V srpnu roku 2012 došlo k velkým změnám v technologii tavení oceli. Zvýšilo se množství foukaného kyslíku a přidalo se prosazování koksu. Jde o chemický ohřev, kdy je teplota v peci díky zapálené reakci koksu a kyslíku větší. Dále se u některých zákazníků hmotnost taveb maximálně navyšovala, protože s rostoucí hmotností vylité oceli se snižuje spotřeba proudu na jednu tunu přetavené oceli.

Porovnával jsem tavby za celý rok 2012, každý měsíc jsem porovnával samostatně. Eliminoval jsem tavby po CKP, kdy pec značně vychladne. Dále tavby s malým tekutým zbytkem po odpichu pece. Tento zbytek podstatně ovlivňuje jak čistý čas tavby, tak i potřebný výkon na roztavení vsázky. Odstranil jsem i všechny tavby, kdy končila výroba na konci pracovního týdne, nebo kdy bylo třeba z důvodu údržby mít pec prázdnou. Tekutý zbytek se ohřál a vylil z pece ven. Tyto tavby se projevovaly nízkou spotřebou elektrické energie a kyslíku. Ostatní tavby jsem pak uspořádal podle data za období leden až prosinec 2012 a shrnul do tabulky 3, z té jsem pak sestrojil grafy 4-6.

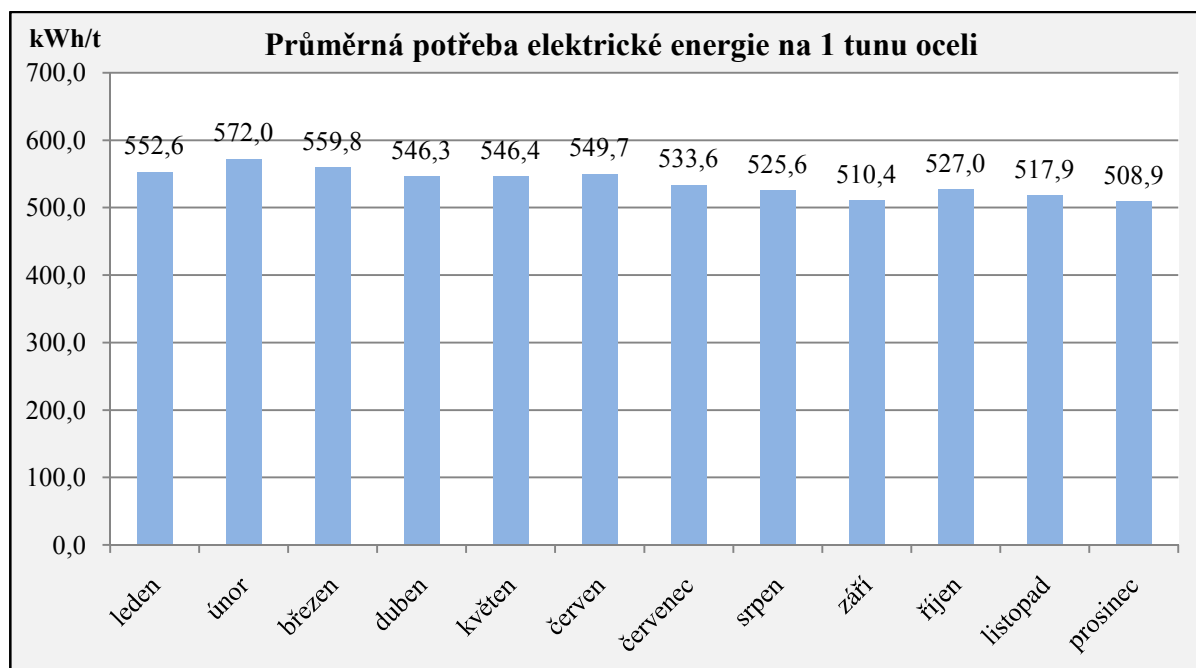
Z grafu 4 je viditelné, jak došlo k průměrnému nárůstu vyrobené oceli na jednu tavbu. Kdy čím větší je hmotnost oceli vyrobené na jednu tavbu, tím je vyšší úspora energie na její výrobu. To vyplývá z grafu 5, kdy spotřeba tavicího proudu klesla v průměru o 9%. Přestože došlo díky zvýšenému foukání kyslíku k nárůstu spotřeby technických plynů z průměrných 30 m³/t na 39 m³/t, je úspora z ekonomického hlediska výrazná.

měsíc	počet taveb	průměrná hmotnost tavby na žlábků (t)	el. energie (kWh/t)	O ₂ - celková spotřeba (m ³ /t)
leden	210	58,3	552,6	29,50
únor	204	58,7	572,0	30,63
březen	222	58,7	559,8	28,46
duben	230	58,3	546,3	29,80
květen	215	58,2	546,4	31,07
červen	208	58,2	549,7	31,67
červenec	241	61,1	533,6	30,88
srpen	134	60,3	525,6	39,06
září	228	61,7	510,4	39,59
říjen	232	60,5	527,0	37,80
listopad	200	61,6	517,9	40,64
prosinec	161	63,2	508,9	39,74

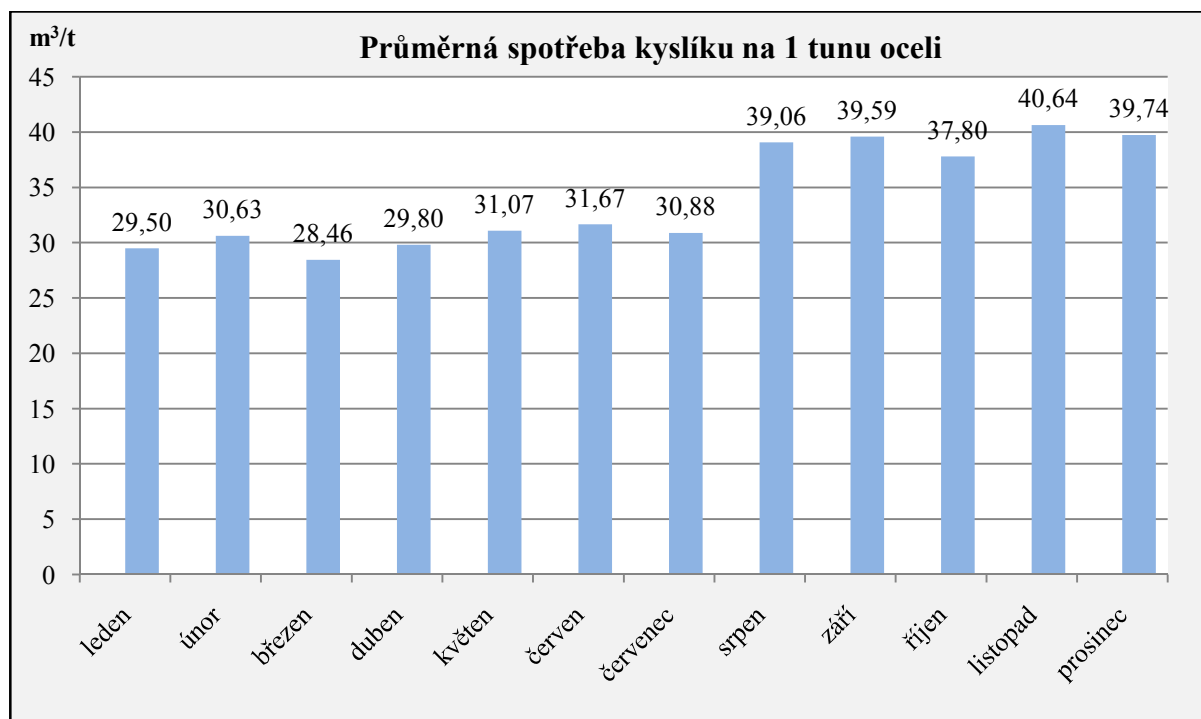
Tab. 3 - Produkce za období leden - prosinec 2012



Graf 4 - Průměrná hmotnost vylité oceli



Graf 5 - Průměrná spotřeba elektrické energie na 1 tunu oceli



Graf 6 - Průměrná spotřeba kyslíku na 1 tunu oceli

4.3 Energetická náročnost taveb bez RCB hořáku.

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, pec číslo 5 ve společnosti Vítkovice HEAVY MACHINERY a.s., byla v roce 2006 modernizovaná a je vybavena třemi kyslíko-palivovými hořáky označenými zkratkami RCB 1, RCB 2 a RCB 3 (Refining Combined Burner). Každým hořákem, který je vybavený tryskou, se do taveniny nadzvukovou rychlostí přivádí proud kyslíku, který zvyšuje teplotu materiálu protaveného obloukem, oduhličuje a promíchává taveninu. Každý z RCB hořáků má

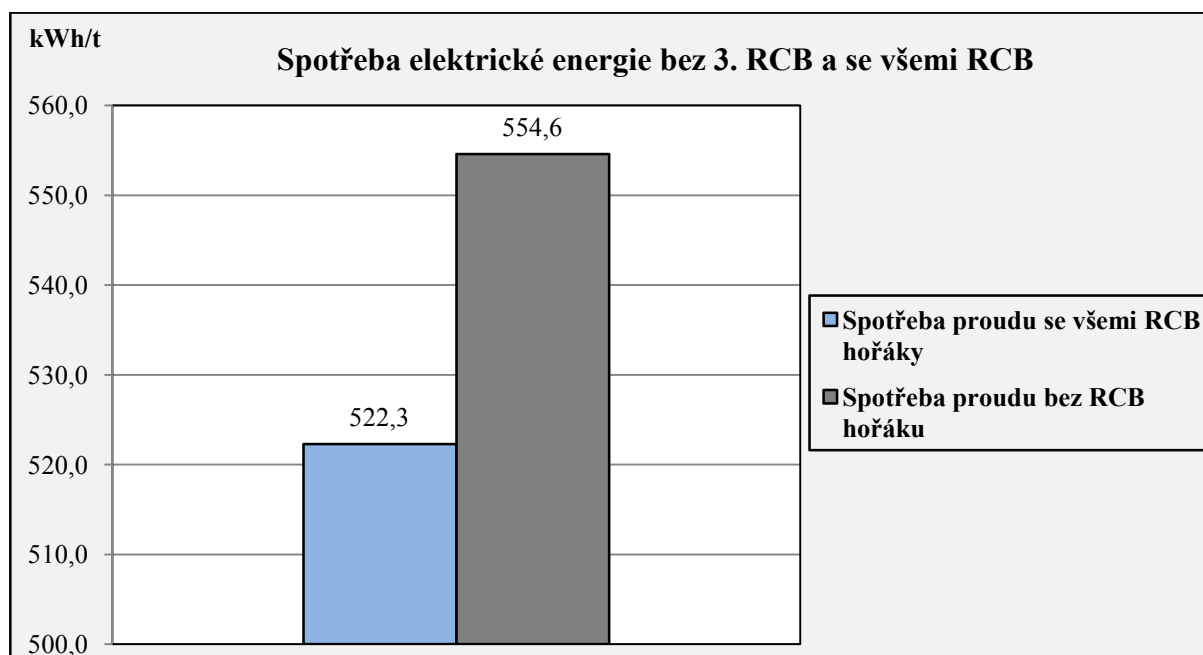
výkon 3,5 MW, celkový výkon, který hořáky poskytují je 10,5 MW. Plynové hořáky se používají k snížení tavicího proudu a k rychlejšímu natavení kovové vsázky a tím následnému zkrácení doby tavby a snížení nákladů na elektrickou energii.

Data pro tento úkol byla vybrána z ledna roku 2012, kdy došlo k poruše na třetím RCB hořáku. Důvodem poruchy bylo, že tekla ochranný rám, který je vodou chlazený, a tělo hořáku je v něm umístěno. Protože výměna trvá 4-6 hodin, tak se hořák odstavil a vyměnil se až v CKP (Cyklickém klidu pece). Tavby bylo dále třeba vyfiltrovat, aby nezkrasovaly konečné grafy.

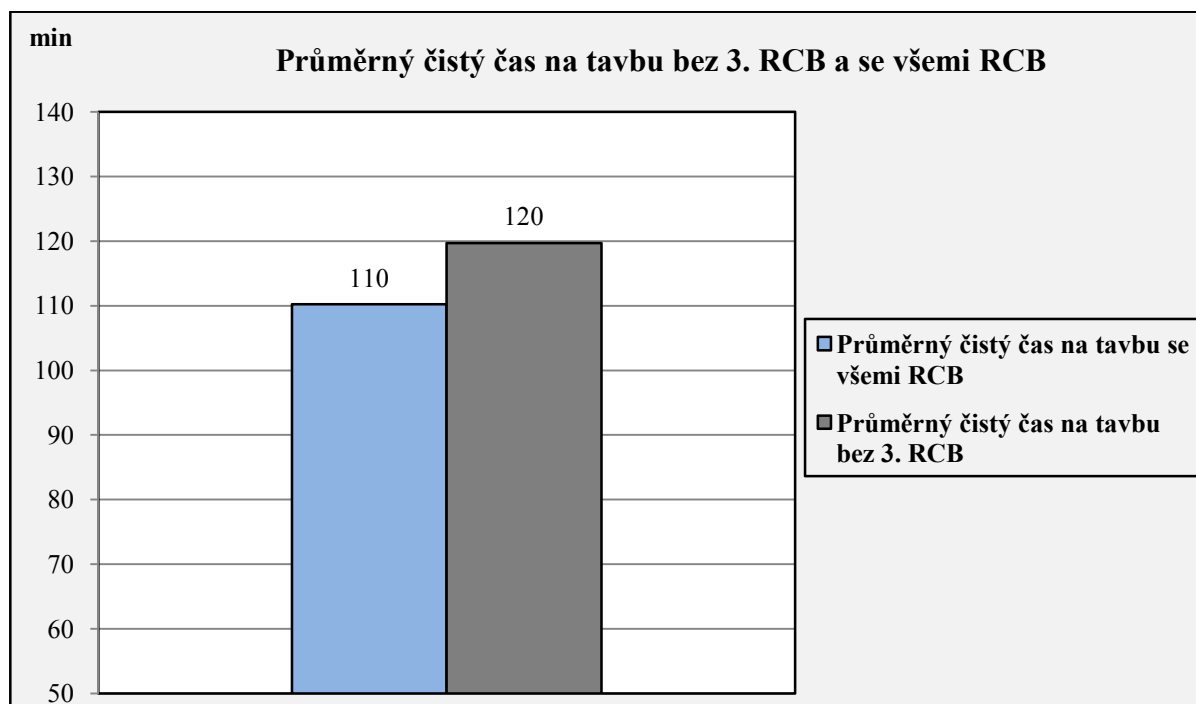
Produkce se všemi RCB hořáky						
hrubý čas (min)	spotřeba elektrické energie (kWh/t)	čistý čas (min)	průměrná hmotnost taveb (t)	spotřeba kyslíku (m3/t)	spotřeba zem.plynu (m3/t)	průměrný čistý čas (min)
2770	522,3	2535	59,0	44,96	6,39	110
Produkce bez 3. RCB hořáku						
hrubý čas (min)	spotřeba elektrické energie (kWh/t)	čistý čas (min)	průměrná hmotnost taveb	spotřeba kyslíku (m3/t)	spotřeba zem.plynu (m3/t)	průměrný čistý čas (min)
1946	554,6	1676	60,96	38,83	5,10	120

Tab. 4 - Produkce se všemi a bez 3. RCB

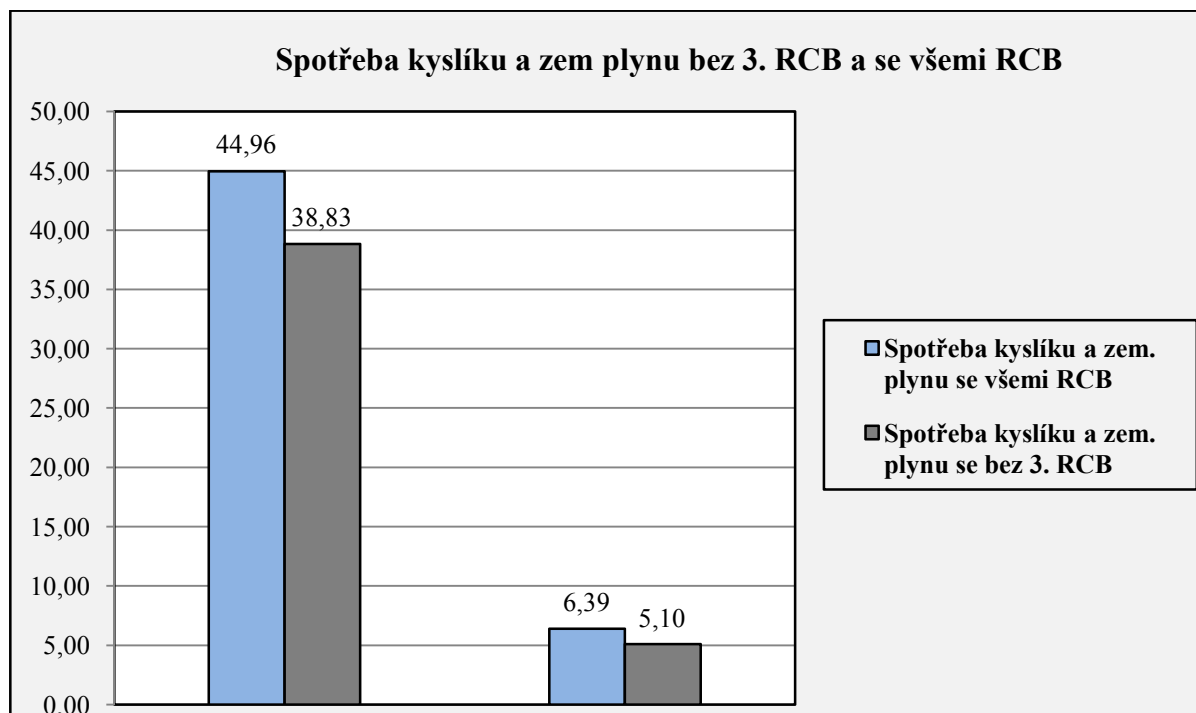
Z tabulky 3 jsem pak sestavil tři nejdůležitější grafy, které ukazují na důležitost chodu všech RCB hořáků. Odpojením 3. RCB hořáku došlo k nárůstu spotřeby energie o takřka 6% a průměrný čas taveb se zvýšil o 10 minut.



Graf 7 - Spotřeba elektrické energie bez 3. RCB a se všemi RCB



Graf 8 - Průměrný čistý čas na tavbu bez 3. RCB a se všemi RCB



Graf 9 - Spotřeba kyslíku a zem. plynu bez 3. RCB a se všemi RCB

Závěr

V bakalářské práci jsem měl vyhodnotit tavby na elektrické obloukové peci číslo 5 ve společnosti Vítkovice a.s. Data, která jsem měl k dispozici, musela nejdřív projít nutnou úpravou. Odstraňoval jsem tavby po dlouhých odstávkách, tavby s velkými prostoji, s velkými tavicími výkony, nebo tavby s malou spotřebou zemního plynu a kyslíku. Tím jsem odstranil údaje, které by zkreslovaly výsledky. Poté jsem data vyhodnotil. Součástí každého úkolu jsou data uložená a zpracovaná v Microsoft Excel. Nejdůležitější grafy a tabulky jsem vložil do této práce. Jelikož jde ale o mnoho dat, která by se sem nevešla, je součástí této práce i elektronická příloha ve formě DVD, na které jsou všechny úkoly uloženy.

V bodě 4.1 jsem vyhodnocoval závislost spotřeby elektrické energie na hmotnosti vyrobené oceli. Z výsledků je patrné, že pec je ideální provozovat na co největší objem tak, aby byla plně využita výrobní kapacita pece.

Při porovnání spotřeby energií a technických plynů po změně technologie jsem měl k dispozici data z každé tavby vyrobené za rok 2012. Zde je patrné, že průměrná produkce oceli od srpna roku 2012, v důsledku navyšování hmotnosti taveb u jednotlivých zákazníků, vzrostla. Přitom se velmi snížila spotřeba elektrické energie na výrobu jedné tuny oceli. Jde o úsporu takřka 9%. Vzrostla sice spotřeba technických plynů, kyslíku a zemního plynu, ale díky srovnatelným cenám za 1kWh elektrické energie a těchto plynů, je roční úspora znatelná. Jedinou, ale přitom zásadní nevýhodou těchto technologických změn je, že díky chemickému ohřevu je v peci daleko větší teplota, než kdyby v ní hořel samotný elektrický oblouk. Dochází tak k rychlejšímu opotřebení vyzdívky pece a k nárůstu finančních prostředků nutných na údržbu.

Pec byla v době modernizace vybavena třemi RCB hořáky. Tyto periferie urychlují tavení kovového šrotu a šetří energii na výrobu oceli. Vše je jasně viditelné v bodě 4.3, kdy se po poruše třetího RCB hořáku zvýší spotřeba elektrického proudu a zvýší se i čas na dokončení tavby. Proto bych doporučil při příští modernizaci vybavit pec dokonalejší technologií, která by počítala s více než třemi RCB hořáky. Firma VAI-Siemens, výrobce EOP č.5, v dnešní době nabízí pece, které mají až 12 těchto hořáků.

Při studii a vyhodnocování procesu tavení jsem zjistil, že tavby ovlivňuje spousta faktorů, mezi které patří tekuté zbytky, prostoje, poruchy, druh železného šrotu, technologie, vybavení pece a podobně.

Použitá literatura:

- [1] Brož, L. a kolektiv.: *Hutnictví železa*. SNTL, Praha 1988
- [2] Michalek, K.: *Elektrometalurgie a výroba feroslitin*. Studijní opora, VŠB-TU Ostrava, 2008
- [3] Hradílek, Z. a kolektiv: *Elektrotepelná technika*, ČVUT Praha, 2011
- [4] Rada, J. a kolektiv: *Elektrotepelná technika*, SNTL, Praha 1985
- [5] Interní materiály společnosti Vítkovice, a.s.
- [6] ing. Milerský, L.: *Diplomový projekt*, Ostrava 2006
- [7] ing. Sznepka, J.: *Diplomová práce*, Ostrava 2009
- [8] Hradílek, Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*, Ostrava 2008
- [9] Technická dokumentace transformátoru a tlumivky od firmy TAMINI

Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry transformátoru Tamini	6
Tab. 2 - Parametry pece EOP č.5	12
Tab. 3 - Produkce za období leden - prosinec 2012	17
Tab. 4 - Produkce se všemi a bez 3. RCB	19

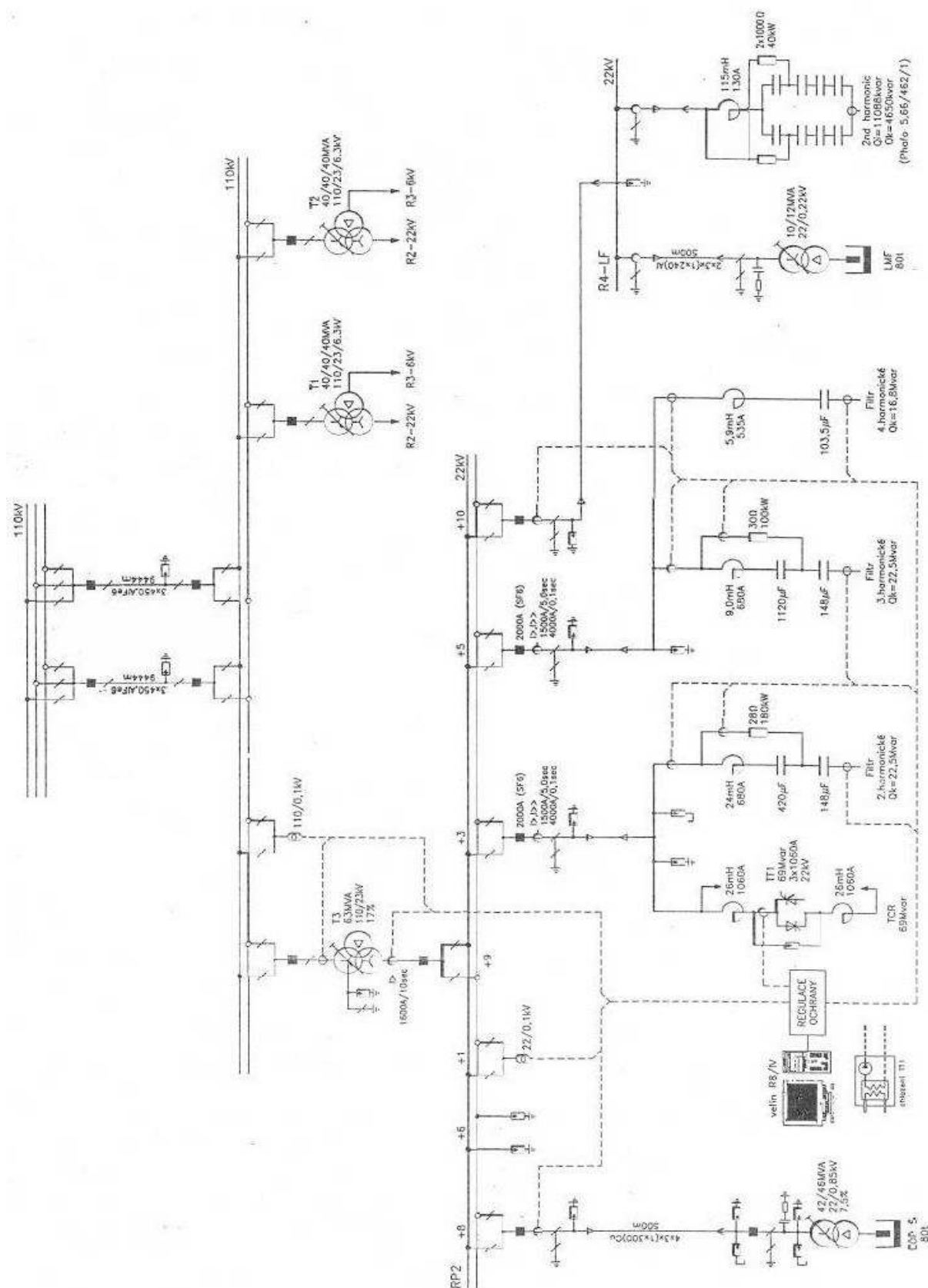
Seznam obrázků a grafů

Obr. 1 - Konstrukční uspořádání klasické EOP na střídavý proud	3
Obr. 2 - Elektrické schéma EOP	4
Obr. 3 - Závislost výkonu pecních transformátorů na velikosti vsázky	6
Obr. 4 - Pásová část krátké cesty a ohebná lana k vodičům elektrod	7
Obr. 5 - Různé druhy zapojení krátké cesty	8
Obr. 6 - Schéma technologické linky střediska NS 320	11
Graf 1 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za únor 2012	15
Graf 2 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za březen 2012	15
Graf 3 - Spotřeba elektrické energie na jednu tunu vyrobené oceli za duben 2012	16
Graf 4 - Průměrná hmotnost vylité oceli	17
Graf 5 - Průměrná spotřeba elektrické energie na 1 tunu oceli	18
Graf 6 - Průměrná spotřeba kyslíku na 1 tunu oceli	18
Graf 7 - Spotřeba elektrické energie bez 3. RCB a se všemi RCB	19
Graf 8 - Průměrný čistý čas na tavbu bez 3. RCB a se všemi RCB	20
Graf 9 - Spotřeba kyslíku a zem plynu bez 3. RCB a se všemi RCB	20

Seznam příloh:

Příloha 1 - Schéma kompenzace rušivých vlivů EOP č.5	24
Příloha 2 - Pohled č.1 na EOP č.5	25
Příloha 3 - Pohled č.2 na EOP č.5	25
Elektronická příloha ve formě DVD	

Přílohy:



Příloha 1 - Schéma kompenzace rušivých vlivů EOP č.5



Příloha 2 - Pohled na EOP č.5v chodu



Příloha 3 - Pohled na vychladlou EOP č.5